



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE ČÁSTI LISOVACÍ FORMY

PRODUCTION TECHNOLOGY FOR SELECTED MOLD PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Mešina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Matej Mešina**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie části lisovací formy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Autor navrhne výrobní technologii pro část lisovací formy. Součástí práce bude jak samotný postup výroby, jeho variantní řešení, tak strojní a materiálové vybavení, technicko–ekonomické hodnocení a doporučení do budoucna.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše problematiky
- rozbor stávající technologie
- návrh variantní technologie
- technicko–ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

BILÍK, Oldřich a Martin VRABEC. Vrabec Martin Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univ., 2002, 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: modelling and applications. 1. vyd. Oxford: Elsevier, 2008, 446 s. ISBN 9780080445342.

CHANG, Tien-Chien, Richard WYSK a Hsu-Pin WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005, 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

KAFKA, J. a M. VRABEC. Technologie obrábění. Praha: ČVUT, 2006, 120 s. ISBN 80-0-01355-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom variantu technológie výroby jadra lisovacej formy. V rešeršnej časti je charakterizované jadro a materiál. Práca sa okrajovo venuje elektroiskrovému drôtovému rezaniu. Druhá kapitola sa zaoberá rozborom aktuálnej technológie výroby. V tretej a štvrtej kapitole sú navrhnuté dva nové varianty technologického postupu výroby. Posledná časť je venovaná technicko–ekonomickému zhodnoteniu navrhnutých variantov.

Kľúčové slová

technológia výroby, sústruženie, frézovanie, elektroiskrové drôtové rezanie

ABSTRACT

The primary concern to be dealt with within the framework of this bachelor thesis is the concept of the variant of production technology of the mold core. The work deals marginally with the wire electrical discharge machining. Second chapter is concerned with the analysis of current production technology. Two new variants of the production technology process are introduced in third and fourth chapter. The last part of this work is dedicated to the techno-economical assessment of the proposed variants

Key words

production technology, turning, milling, wire electrical discharge machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MEŠINA, Matej. *Návrh technologie části lisovací formy*. Brno 2017. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 37 s. 7 příloh. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím uvedenej literatúry.

V Brne dňa 24. 5. 2017

.....
Matej Mešina

POĎAKOVANIE

Chcel by som touto cestou poďakovať vedúcemu svojej bakalárskej práce Ing. Oskarovi Zemčíkovi, Ph.D. za odbornú pomoc a pripomienky k mojej práci.

Ďalej ďakujem Tomášovi Keselymu a Mariánovi Hajesovi z firmy Vegum a.s. za cenné rady a poskytnutie potrebných údajov.

Ďakujem taktiež rodine a priateľom za pomoc v doterajšom štúdiu.

OBSAH

Úvod	8
1 Rešerš problematiky	9
1.1 Použitý materiál	9
1.2 Elektroerozívne obrábanie	10
1.2.1 Elektroerozívne hĺbenie	10
1.2.2 Elektroerozívne drôtové rezanie	11
1.2.3 Elektroerozívne brúsenie	12
2 Rozbor aktuálnej technológie	13
2.1 Technologický postup	13
2.2 Sústruženie	13
2.2.1 Použité nástroje pre sústruženie	14
2.3 Frézovanie	16
2.3.1 Použité nástroje pre frézovanie	16
2.4 Rezanie závitů	17
2.4.1 Použitý nástroj na rezanie závitů	18
3 Návrh novej technológie výroby variant 1	19
3.1 Technologický postup	19
3.2 Elektroiskrové drôtové rezanie	20
3.3 Návrh rezu	20
3.4 Frézovanie	23
4 Návrh novej technológie výroby variant 2	24
4.1 Sústruženie	24
4.1.1 Nové sústružnícke nástroje	24
4.2 Frézovanie	25
4.2.1 Nové frézovacie nástroje	26
5 Technicko–ekonomické zhodnotenie	28
5.1 Technické zhodnotenie	28
5.2 Ekonomické zhodnotenie	28
Záver	34
Zoznam použitých zdrojů	35
Zoznam použitých symbolů a skratiek	36
Zoznam príloh	37

ÚVOD

V dnešnej dobe je v záujme každej firmy snaha znížiť výrobné náklady. Znižovaním nákladov rastie samotný zisk a taktiež aj konkurencieschopnosť firmy. Strojársky podnik, ktorý neinvestuje do nových technológií nemôže držať krok s konkurenciou. Obzvlášť to platí pre firmy zaoberajúce sa výrobou, pretože strojárska technológia je dynamický obor, ktorý neustále napreduje. Počiatočné investície sú častokrát veľmi nákladné ale bez nich nemôžeme očakávať posun vpred.

Cieľom predloženej práce je navrhnúť nový technologický postup výroby zvolenej súčiastky. Podstatou novonavrhnutého technologického postupu výroby je jej zefektívnenie a zníženie celkových výrobných nákladov. Zvolenou súčiastkou je jadro, časť lisovacej formy na výrobu gumených tesnení do prácok. Jadro je vyrábané vo firme Vegum a.s., ktorá sa zaoberá gumárenskou a strojárskou výrobou.

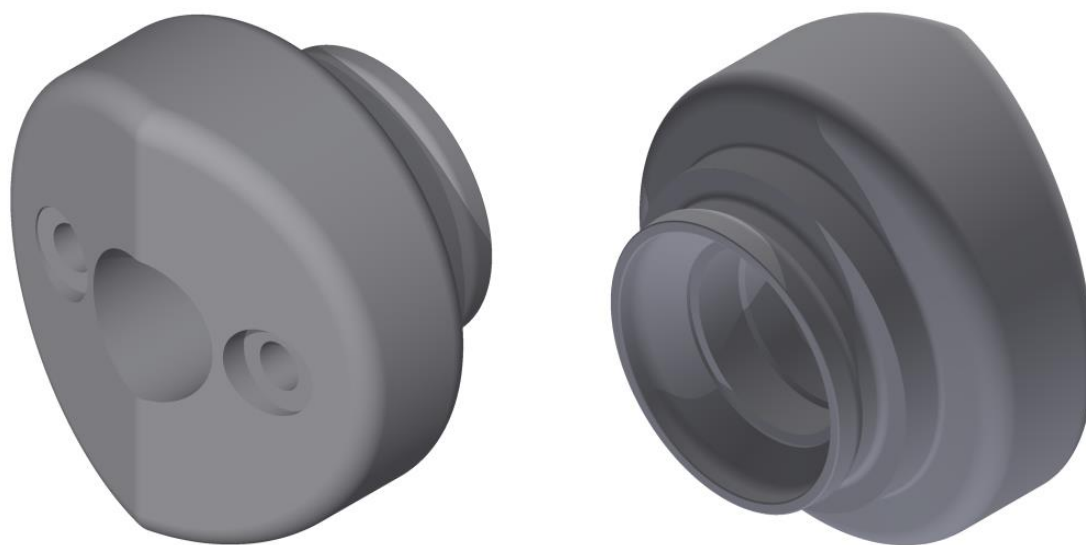
V práci sú vypracované dva nové varianty technológie výroby. Prvý variant spočíva vo využití elektroerozívneho obrábania. Podstatou druhého variantu technológie je použitie nových nástrojov.

Prvá časť práce obsahuje technologický rozbor súčiastky, charakteristiku materiálu a rešerš v oblasti elektroerozívneho obrábania. Ďalej je rozanalyzovaná aktuálna technológia výroby jadra. Novonavrhnuté technológie sú podložené výrobnými návodkami, ktoré obsahujú zvolené rezné podmienky. V závere práce je ekonomicko–technické zhodnotenie oboch navrhnutých variantov.

1 REŠERŠ PROBLEMATIKY

Jadro je súčasťou formy, ktorá slúži na lisovanie gumených tesnení do domácich práčok (obr. 1.1). Lisovanie prebieha za zvýšenej teploty 170 °C. Forma obsahuje osem takýchto jadier. Súčiastka je vyrábaná v nepravidelných sériách v približnom počte 100 kusov ročne.

Jadro je rotačná súčiastka priemeru Ø114 a dĺžky 74,76 mm. V osi je diera priemeru Ø37H7, na vonkajšej ploche súčiastky je úkos pod uhlom 75°, dve diery s nepriechodným závitom M10 a zahĺbením. Jadro je prichytené k forme dvoma skrutkami. Funkčnou časťou jadra, ktorá prichádza do kontaktu s gumou je vonkajšia a vnútorná kontúra medzi dvoma ostrými hranami. Ostré hrany sa nachádzajú na ľavej časti pohľadu v reze zobrazenom na výkrese, ktorý je súčasťou prílohy 7. Plochy spojené ostrými hranami zabezpečujú tesnosť jadra s formou, aby tekutá guma nevytekala do priestoru formy.



Obr. 1.1 Tvar jadra.

1.1 Použitý materiál

Jadro lisovacej formy je vyrábané z nízkoaliovaného nástrojového ocele 1.2312 (40CrMnMoS8-6, ČSN 19520+S). V nasledujúcej tabuľke je zobrazené chemické zloženie použitého materiálu. Polotovarom je kruhová tyč Ø120×80.

Tab 1.1 Chemické zloženie ocele 1.2312 [1].

[%]C	Si [%]	Mn [%]	P max [%]	S max [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,35–0,45	0,3–0,5	1,4–1,6	0,03	0,05–0,1	1,8–2	0,15–0,25

Táto oceľ sa používa na výrobu nástrojov určených na tvarovanie za tepla. Predovšetkým pre malé a stredne veľké zápustky pre buchary a kovací lis a teplotne namáhané pomocné nástroje. Je vhodná na výrobu foriem pre vstrekovanie plastov a liatie kovov [1].

Oceľ zaručuje výbornú obrábiteľnosť aj v zušľachtenom stave. Je vhodná na cementovanie, tvrdochromovanie a nitridovanie. Dodáva sa v zušľachtenom stave a nie je nutné ju ďalej tepelne spracovávať. Pevnosť v ťahu ocele v dodávanom stave je 900–1100 MPa a tvrdosť 280–325 HB (29–35 HRC) [1].

1.2 Elektroerozívne obrábanie

Elektroerozívne obrábanie patrí do kategórie nekonvenčných metód obrábania a je najrozšírenejšou nekonvenčnou metódou obrábania. Na rozdiel od konvenčných metód, ako sú napr. sústruženie, frézovanie alebo brúsenie, využíva elektroerozívne obrábanie vznik tepelnej energie. Táto energia sa uvoľňuje pri elektrickom výboji medzi elektródami, ktoré tvoria nástroj a obrobok. V súčasnosti sa elektroerozívne obrábanie rozlišuje podľa technologických možností na [2]:

- hĺbenie alebo tvarové elektroerozívne obrábanie,
- drôtové rezanie,
- brúsenie.

Princíp technológie elektroerozívneho alebo elektroiskrového obrábania spočíva v odoberaní materiálu elektricky, použitím rýchlo sa opakujúcich periodických impulzov iskrového výboja za prítomnosti dielektrika. Mikročastice materiálu sú odtavované alebo odparované vo forme dutých guľôčok. Mikročastice sú odstraňované z medzery medzi nástrojom a obrobkom prúdením dielektrickej kvapaliny [2].

Dielektrikum alebo taktiež dielektrická kvapalina je pracovné prostredie, ktoré má vplyv na vznik elektroiskrového výboja. Toto prostredie je spravidla nevodivé ako napr. petrolej, olej alebo vzduch a polovodivé ako napr. vodné sklo, kaolínová emulzia a rôzne soľné roztoky. Dielektrikum plní radu funkcií potrebných pre stabilný priebeh elektroerozívneho procesu. Pôsobí ako izolátor medzi elektródami, odvádza teplo z pracovnej medzery, zabraňuje vylučovaniu uhlíku a mikročastíc na povrchu elektródy a tým zabraňuje vzniku skratu. Na kvapalinu sú kladené nasledujúce požiadavky [2,3]:

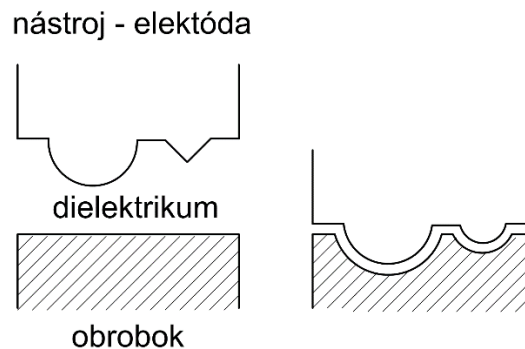
- vysoký elektrický odpor,
- malá viskozita a dobrá zmáčavosť,
- chemická neutrálnosť z dôvodu zamedzenia korózie,
- vysoká teplota horenia,
- hygienická a ekologická nezávadnosť,
- chemická stálosť a finančná nenáročnosť.

Väčšinu týchto vlastností majú transformátorové alebo ľahké strojné oleje. V súčasnosti sa dostávajú do popredia dielektriká na báze vody, ako napr. deionizovaná destilovaná voda. Vyniká nízkou cenou, nízkou viskozitou oproti obvyčajnej vode chemicky nereaguje s uhlíkom a zabezpečuje ochranu voči vzplanutiu. V priemysle je najviac využívanou dielektrickou kvapalinou petrolej, ktorý zabezpečuje dobrú kontrolu výboja [2].

1.2.1 Elektroerozívne hĺbenie

Princíp elektroerozívneho hĺbenia je založený na obrábaní elektricky vodivého materiálu iskrovými výbojmi. Tieto výboje vznikajú medzi záporne nabitou elektródou a kladne nabitým obrobkom, medzi ktorými je dielektrické prostredie. Počas obrábania dochádza k automatickému posuvu nástrojovej elektródy a udržiavaniu nastavenej hodnoty medzery. Elektróda sa časom opotrebováva a jej tvar sa kopíruje do obrobku. Kvalita obrobeneho povrchu a produktivita závisí na energii výboja a jeho frekvencií. Zvýšenie intenzity úberu materiálu zhorší akosť povrchu. Na obr. 1.2 je znázornený princíp elektroerozívneho hĺbenia.

Vľavo je východiskový stav nástrojovej elektródy a obrobku bez známkopotrebenia. Vpravo je obrobek po hĺbení [2].



Obr. 1.2 Princíp elektroerozívneho hĺbenia [2].

Elektroiskrové hĺbenie ma nasledujúci priebeh: priblížením pracovných elektród dochádza k preskočeniu iskry (vzniku výboja) a uvoľneniu malej časti roztaveného materiálu. Iskry nasledujú za sebou a elektróda pomaly vnika do obrobku. Ochladzovanie katódy zaisťuje zvýšenie účinku iskry, dobré uvoľňovanie častí materiálu a ich odstraňovanie z pracovného miesta [2].

Úber materiálu je závislý na parametroch elektrického prúdu, množstve a tvare impulzov za sekundu, od obrábaného materiálu, materiálu elektródy a dielektrickej kvapaliny. Zvyšovaním napätia zdroja a kapacity v obvode môžeme zväčšovať úber materiálu. Nárast úberu materiálu priamo vplýva na veľkosť kráterov v mieste pôsobenia iskry [2].

Medzi výhody elektroiskrového hĺbenia patrí: možnosť obrábania vodivých materiálov ľubovoľnej mechanickej pevnosti, tvrdosti a húževnatosti, možnosť dosahovať rôznu kvalitu opracovaného povrchu, možnosť obrábať dielce zložitých tvarov, ktoré sa nedajú obrábať inými metódami, na obrábaný predmet nepôsobia žiadne mechanické účinky (deformácie, sily) [2].

Medzi nevýhody patrí: rýchle opotrebovanie nástroja (na vyhlĺbenie tvarového otvoru sa spotrebuje niekoľko elektród), potreba dokonalého čistenia dielektrika, obrobok musí byť počas procesu obrábania ponorený v dielektriku, nepriama úmera medzi produktivitou a kvalitou obrobku [2].

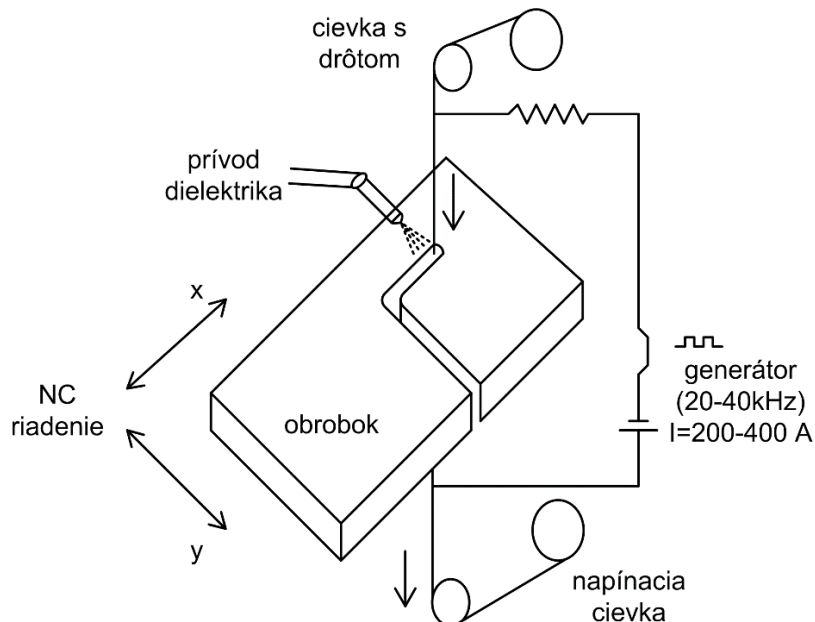
1.2.2 Elektroerozívne drôtové rezanie

Elektroerozívne drôtové rezanie, alebo inak nazývané aj elektroiskrové drôtové rezanie je jednou z progresívnych modifikácií elektroerozívneho obrábania. Jeho uplatnenie je predovšetkým pri výrobe strižných a lisovacích nástrojov a pri delení veľmi pevných alebo tvrdých materiálov. Podmienkou použitia elektroiskrového drôtového rezania je schopnosť materiálu viesť elektrický prúd. Výhodou tohto spôsobu obrábania je, že nezávisí na mechanických vlastnostiach obrobku ako sú tvrdosť a húževnatosť [2,4].

Princípom tejto metódy obrábania je odvíjanie tenkého drôtu pomocou špeciálneho zariadenia miestom rezu (obr. 1.3). Pre elektroiskrové drôtové rezanie je nutné zaistiť konštantnú ťahovú silu a predpätie drôtu. Drôt nie je možné použiť opakovane. Obrobok tvorí elektródu opačnej polarita ako je drôt [2,4].

Drôt koná pohyb vo vertikálnom smere po vopred určenej dráhe, riadenej NC alebo CNC systémom stroja. Obrobok je upnutý a pohybuje sa v horizontálnom smere alebo nevykonáva

žiadan pohyb. Medzi najrozšírenejšie materiály na výrobu drôtov patrí mosadz alebo meď. Vynikajú výbornou elektrickou vodivosťou a pevnosťou v ťahu. Taktiež sú vhodné pre ťahanie s vysokou presnosťou prierezu. V poslednej dobe sa dostávajú do popredia povlakované drôty. A to najmä oceľové drôty povlakované meďou alebo povlakované grafitom. Priemer drôtu sa pohybuje v rozmedzí 0,03-0,3 mm [2].



Obr. 1.3 Princíp elektroiskrového drôtového rezania [2].

Pri elektroiskrovom rezaní sa ako dielektrická kvapalina používa deionizovaná voda alebo iné nízkoviskózne kvapaliny. Dielektrikum zabezpečuje dostatočné chladenie oblasti drôtu a obrobku a odplavovanie erózných splodín z miesta rezu. Elektroiskrové rezanie vyžaduje plynulé prúdenie dielektrickej kvapaliny do miesta rezu. V prípade nevhodného nastavenia prúdenia dielektrickej kvapaliny môže dôjsť k roztrhnutiu drôtovej elektródy [2].

Elektroerozívne drôtové rezanie dosahuje pracovnú presnosť približne 0,013 mm. Drsnosť povrchu môže dosahovať hodnoty R_a 0,1 μm . Povrch obrábaného materiálu vykazuje typické stopy po tepelnom ovplyvnení [2,15].

Medzi uplatnenie elektroiskrového rezania patrí: opracovanie vysokotvrdých elektricky vodivých materiálov, obrábanie nástrojov na tvárenie, opracovanie predmetov malých rozmerov, výroba prototypov, opracovanie spekaných karbidov, kubického nitridu bóru a polykrystalického diamantu [2].

1.2.3 Elektroerozívne brúsenie

Elektroerozívne brúsenie využíva princíp elektroerózie pre brúsenie materiálu. Elektródu tvorí grafitový alebo mosadzný rotujúci kotúč. Obrobok tvorí kladný pól ponorený v dielektrickej kvapaline a je posúvaný k záporne nabitému rotujúcemu kotúču. Elektróda a obrobok nie sú v kontakte [2].

Bežne sa dosahuje pri elektroiskrovom brúsení drsnosť povrchu R_a 0,25 μm . Drsnosť povrchu je výrazne ovplyvňovaná rýchlosťou úberu. Elektroiskrové brúsenie nachádza využitie pri brúsení vysokopevnostných ocelí a karbidov, brúsení krehkých a lámavých materiálov [2].

2 ROZBOR AKTUÁLNEJ TECHNOLOGIE

V súčasnosti prebieha výroba jadra lisovacej formy na CNC sústruhu Gildemeister CTX 400 E, 5-osej frézke DMU 75 monoBLOCK® a závitoreze JT 3150. Výroba podľa aktuálnej technológie je relatívne časovo náročná. Väčšinu obrábania zaberá dokončovanie plochy úkosu pod uhlom 75° a dokončovanie obvodového rádiusu R7. Vymeniteľné britové doštičky použité pri vnútornom hrubovaní na sústruhu majú len dve ostria. Preto je ich spotreba vzhľadom na nízky strojný čas vysoká.

Všetky strojné časy sústruženia a frézovania sú získané simuláciou na konkrétnych strojoch. V týchto časoch sú započítané aj vedľajšie časy výmeny nástrojov a čas pohybu nástroja rýchloposuvom.

2.1 Technologický postup

V nasledujúcej tabuľke je uvedený aktuálny technologický postup pri výrobe jadra lisovacej formy.

Tab. 2.1 Technologický postup.

Číslo operácie	Pracovisko	Popis práce
1.	Zámočnícka dielňa	Príprava materiálu Ø120x80 mm
2.	CTX 400 E	Zarovnať čelo, sústružiť vonkajší rozmer Ø114 mm. Vŕtať otvor Ø35 mm na dĺžku L = 80 mm, sústružiť vnútorný rozmer Ø37H7. Zraziť 2x hranu 0,3x45° na Ø37H7 a Ø114. Zarovnať čelo na rozmer L = 74,76 mm. Sústružiť vonkajšiu kontúru. Sústružiť vnútornú kontúru. Kontrolovať rozmery.
3.	DMU 75	Vŕtať otvor Ø 8,5 mm do hĺbky L = 42,94 mm pod závit M10. Frézovať plochy úkosu pod uhlom 75° s rádiusom R5. Frézovať rádius R7 po obvode plôch úkosu. Frézovať zahĺbenie Ø 22 mm do hĺbky L = 11,94 mm. Frézovať zahĺbenie Ø 12 H7 do hĺbky L = 21,94 mm. Kontrolovať rozmery.
4.	JT 3150	Rezať závit M10 do hĺbky L = 17 mm.
5.	Nástrojárska dielňa	Odihliť potrebné hrany
6.	Kontrola a meranie	Kontrolovať rozmery.
7.		Nitridovať do hĺbky 0,2-0,3 mm

2.2 Sústruženie

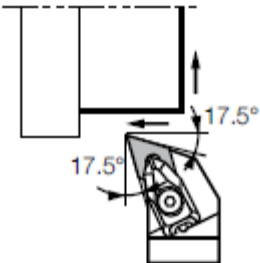

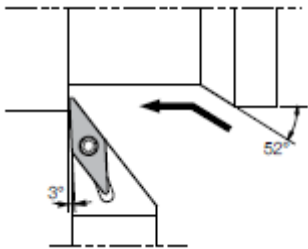

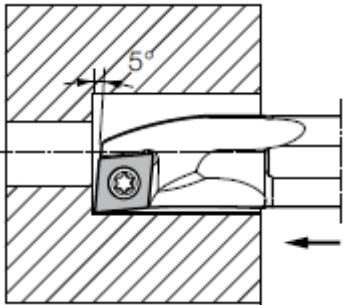

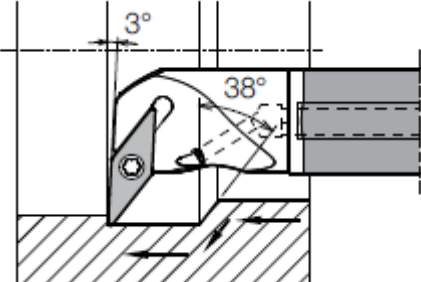

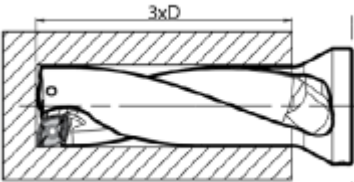

DMG MORI je japonsko-nemecká spoločnosť, ktorá sa primárne zaoberá vývojom a výrobou obrábacích strojov. Číslicovo riadený sústruh Gildemeister CTX 400 E je produktom jej talianskej divízie Gildemeister. Tento sústruh je vybavený riadiacim systémom Heidenhein CNC PILOT 3190. Podrobnejšie informácie o sústruhu sú súčasťou prílohy 2 [5].

Sústruh je počas obrábania riadený CNC programom, ktorý je súčasťou prílohy 6. Rezné podmienky spolu s popisom práce sú uvedené vo výrobných návodkách P/1, P/2 a P/3. Výrobné návodky sú súčasťou prílohy 1. Obrábanie prebieha konštantnou reznou rýchlosťou. Z dôvodu zamedzenia nárastu otáčok do vysokých hodnôt je nastavený parameter maximálnych otáčok n_{\max} [6]

2.2.1 Použité nástroje pre sústruženie

Pre obrábanie na sústruhu sa používajú nástroje a vymeniteľné britové doštičky od japonského výrobcu Kyocera. Prehľad použitých nástrojov aj s ich označením je zobrazený v tabuľke nižšie. Taktiež sa v tabuľke nachádzajú doporučené rezné podmienky stanovené výrobcom vymeniteľných britových doštičiek.

Tab. 2.2 Sústružnícke nástroje a odporúčané rezné podmienky [7,8,9].

Druh operácie	Držiak	Vymeniteľná britová doštička a odporúčané rezné podmienky
Vonkajšie hrubovanie	 DDHNL2020K-1506	 DNMG150608PT $r = 0,8 \text{ mm}$ $a_p = 1,5-4,5 \text{ mm}$ $f_n = 0,25-0,45 \text{ mm}$ $v_c = 120-230 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 4$
Vonkajšie dokončovanie	 SVJBL2020K-11	 VBMT110304GP $r = 0,4 \text{ mm}$ $a_p = 0,2-1 \text{ mm}$ $f_n = 0,05-0,2 \text{ mm}$ $v_c = 150-250 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 2$
Vnútorne hrubovanie	 S16Q-SCLCL09-18A	 CCMT09T304GK $r = 0,4 \text{ mm}$ $a_p = 0,5-2 \text{ mm}$ $f_n = 0,1-0,25 \text{ mm}$ $v_c = 120-220 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 2$
Vnútorne dokončovanie	 E16X-SVUBL11-25A	 VBMT110304GP $r = 0,4 \text{ mm}$ $a_p = 0,2-1 \text{ mm}$ $f_n = 0,05-0,2 \text{ mm}$ $v_c = 150-250 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 2$
Vŕtanie	 DRX350M-3-11	 ZXMT11306GM $r = 0,6 \text{ mm}$ $f_n = 0,08-0,2 \text{ mm}$ $v_c = 100-160 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 2$

2.3 Frézovanie

Moderná vertikálna frézka DMU 75 monoBLOCK® je produktom japonsko-nemeckej spoločnosti DMG MORI. Frézka umožňuje obrábanie v piatich osiach, so 750 mm vertikálnym posuvom v osi X. Vreteno dosahujúce 20000 min⁻¹ obrába obrobok na číslicovo riadenom naklápaco-otočnom stole. Reťazový zásobník nástrojov obsahuje 60 nástrojových držiakov. Zariadenie dokáže obrábať obrobky do priemeru Ø840 mm maximálnej hmotnosti 600 kg. Frézka sa dodáva v dvoch variantoch 3D riadiacich systémov. Heidenhein TNC 640 alebo Siemens 840D. Konkrétna frézka použitá pre obrábanie v tejto práci je riadená systémom Heidenhein TNC 640. Podrobnejšie informácie o frézke sú súčasťou prílohy 3 [10].


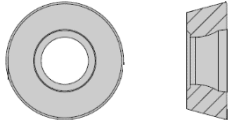



Rezné podmienky spolu s popisom práce sú uvedené vo výrobnej návodke P/4, ktorá je súčasťou prílohy 1.

Pri vŕtaní je nastavené vyťahovanie vrtáku po každých 6 mm. Cieľom tejto úpravy je zlepšenie odstraňovania triesok z diery. Vo všetkých troch technológiách je táto hodnota rovnaká.

2.3.1 Použité nástroje pre frézovanie

Pre obrábanie na frézke sa používajú nástroje a vymeniteľné britové doštičky od nemeckého výrobcu Pokolm a kórejského výrobcu YG-1. Prehľad použitých nástrojov aj s ich označením je zobrazený v tabuľke nižšie.

Tab. 2.3 Frézovacie nástroje a odporúčané rezné podmienky [11,12].

Druh operácie	Držiak	Vymeniteľná britová doštička a odporúčané rezné podmienky
Hrubovanie	 2 25 235	 01 07 482 PVSR $\varnothing = 25 \text{ mm}$ $z = 5$ $r = 3,5 \text{ mm}$ $a_p = 0,1-0,7 \text{ mm}$ $f_z = 0,1-0,3 \text{ mm}$ $n = 1273-3820 \text{ min}^{-1}$
Dokončovanie	 EM815100	- $\varnothing = 10 \text{ mm}$ $z = 4$ $a_p = 0,3 \text{ mm}$ $a_e = 2 \text{ mm}$ $f_z = 0,075 \text{ mm}$ $n = 5090 \text{ min}^{-1}$
Frézovanie zahĺbenia	 EM895100	- $\varnothing = 10 \text{ mm}$ $z = 3$ $a_p = 10 \text{ mm}$ $a_e = 0,5 \text{ mm}$ $f_z = 0,047 \text{ mm}$ $n = 3260 \text{ min}^{-1}$
Frézovanie zahĺbenia	 EM895080	- $\varnothing = 8 \text{ mm}$ $z = 3$ $a_p = 8 \text{ mm}$ $a_e = 0,4 \text{ mm}$ $f_z = 0,042 \text{ mm}$ $n = 4200 \text{ min}^{-1}$
Vŕtanie diery	 DH423085	- $n = 2805 \text{ min}^{-1}$ $f_z = 0,09-0,15 \text{ mm}$

2.4 Rezanie závitů

Rezanie závitů prebieha na stroji JT 3150 talianskeho výrobcu závitorezov Volumec. Trojkl'bový závitorez dokáže rezať závitů v rozsahu M3 až M20 v akomkoľvek uhle. Motor umožňuje plynulú reguláciu otáčok v rozsahu 50–500 min⁻¹. Podrobnejšie informácie o závitoreze sú súčasťou prílohy 4 [13].

Rezné podmienky sú uvedené vo výrobnej návodke P/5, ktorá je súčasťou prílohy 1.

2.4.1 Použitý nástroj na rezanie závitu

Závit je rezaný závitníkom českej firmy Narex. Závitník spolu s odporúčanými reznými podmienkami je zobrazený v tabuľke nižšie.

Tab. 2.4 Závitník a odporúčané rezné podmienky [14].

Druh operácie	Držiak	Odporúčané rezné podmienky
Rezanie závitu	 2680 M10 6H	$n = 191\text{--}255 \text{ min}^{-1}$

Pre výpočet strojného času je použitý vzťah (2.1)

$$t_{AS} = \frac{L \times i}{n \times f_n} [\text{min}] \quad (2.1)$$

kde: $t_{AS}[\text{min}]$ strojný čas,
 $L_z[\text{mm}]$ dĺžka závitu,
 $i[\text{ks}]$ počet závitov,
 $n[\text{min}^{-1}]$ otáčky,
 $f_n[\text{mm}]$ posuv na otáčku.

$$t_{AS} = \frac{17 \times 2}{150 \times 1,5} = 0,15 \text{ min}$$

Vzhľadom na to, že uvedený výpočet zohľadňuje iba rezanie závitu a nie vysunutie nástroja z obrobku, musíme výsledný čas prenásobiť dvoma. Touto úpravou získame čas jednotkovej práce rezania dvoch závitov $t_{A1} = 0,3 \text{ min}$.

3 NÁVRH NOVEJ TECHNOLOGIE VÝROBY VARIANT 1

Podstatou tohto variantu je využitie elektroerozívneho drôtového rezania. Obrábanie na sústruhu zostane v pôvodnej nezmenenej podobe. Zmenené je obrábanie na frézke. Na elektroerozívnej drôtovej rezačke je obrobený úkos pod uhlom 75° a rádius R5. Na frézke sú vyvrtané diery, vyfrézované zahĺbenia a obrobený obvodový rádius R7. Rezanie závitů zostane v pôvodnej nezmenenej podobe.

3.1 Technologický postup

V nasledujúcej tabuľke je znázornený technologický postup pre prvý variant technológie výroby odsuvného jadra. Po ukončení obrábania na sústruhu sa obrobok presunie na pracovisko elektroerozívnej drôtovej rezačky AgieCharmilles CUT 300 SP. Rezačka odreže časť materiálu predtým obrábaného na frézke. Po presunutí obrobku na pracovisko frézky dôjde k zmene poradia jednotlivých operácií. Vzhľadom na to, že by mohlo dôjsť pri vŕtaní dier $\varnothing 8,5$ mm do naklonenej roviny pod uhlom 75° k vyoseniu vrtáku bude táto operácia uskutočnená až po vyfrézovaní zahĺbení $\varnothing 22$ mm. Vďaka tejto zmene vylúčime možnosť vyosenia dier pri vŕtaní.

Tab. 3.1 Technologický postup novo navrhutej technológie.

Číslo operácie	Pracovisko	Popis práce
1.	Zámočnícka dielňa	Príprava materiálu $\varnothing 120 \times 80$ mm
2.	CTX 400 E	Zarovnať čelo, sústružiť vonkajší rozmer $\varnothing 114$ mm. Vŕtať otvor $\varnothing 35$ na dĺžku $L = 80$ mm, sústružiť vnútorný rozmer $\varnothing 37H7$. Zraziť 2x hranu $0,3 \times 45^\circ$ na $\varnothing 37H7$ a $\varnothing 114$. Zarovnať čelo na rozmer $L = 74,76$ mm. Sústružiť vonkajšiu kontúru. Sústružiť vnútornú kontúru. Kontrolovať rozmery.
3.	CUT 300 SP	Rezať plochu úkosu pod uhlom 75° s rádiusom R5. Kontrolovať rozmery.
4.	DMU 75	Frézovať rádius R7 po obvode plôch úkosu. Frézovať zahĺbenie $\varnothing 22$ mm do hĺbky $L = 11,94$ mm. Vŕtať otvor $\varnothing 8,5$ do hĺbky $L = 42,94$ mm pod závit M10. Frézovať zahĺbenie $\varnothing 12 H7$ do hĺbky $L = 21,94$ mm. Kontrolovať rozmery.
5.	JT 3150	Rezať závit M10 do hĺbky $L = 17$ mm.
6.	Nástrojárska dielňa	Odihliť potrebné hrany
7.	Kontrola a meranie	Kontrolovať rozmery.
8.		Nitridovať do hĺbky $0,2-0,3$ mm

3.2 Elektroiskrové drôtové rezanie

Stroj AgieCharmilles CUT 300 SP je produktom švajčiarskej spoločnosti GF, konkrétne jej divízie GF Machining Solutions. Táto divízia sa zaoberá predovšetkým vývojom a výrobou trieskovo obrábacích strojov a elektroerozívnych strojov. Medzi jej najväčších odberateľov patrí letecký a automobilový priemysel [15].

Univerzálna elektroerozívna rezačka AgieCharmilles CUT 300 SP splňuje nároky vysokorýchlostného obrábania a zároveň kladie dôraz na dokonalosť povrchu. Dokáže rezať kužeľ pod uhlom 45° bez ohľadu na výšku obrábaného dielu. Rezačka používa holé alebo povlakované drôty z medi alebo mosadze, ktoré majú priemer $\varnothing 0,07\text{--}0,33$ mm. Podrobnejšie informácie o drôtovej rezečke sú súčasťou prílohy 5 [15,16].

3.3 Návrh rezu

Aby sme dosiahli predpísanú rozmerovú presnosť povrchu a predpísanú drsnosť povrchu je potreba rozložiť rez na viacero rezov. Po konzultácii s obsluhou stroja sú zvolené tri rezy. Na obr. 3.3 a obr. 3.4 je znázornená výsledná simulácia rezania. V ľavej časti obr. 3.4 je možno vidieť dráhu rezania vyznačenú plnou čiarou, dráha rýchloposuvu je vyznačená čiarkovanou čiarou. V mieste, na ktoré ukazuje biela šípka je rádius R5. Drsnosť povrchu obrobenej plochy je nastavená na maximálnu hodnotu $R_a = 1,6 \mu\text{m}$ v súlade s výkresovou dokumentáciou. Na obrábanie bude použitý zinkom povlakovaný mosadzný drôt AC CUT A 900 priemeru 0,25 mm. Rezné podmienky sú uvedené vo výrobnnej návodke V1/1, ktorá je súčasťou prílohy 1.

Prvý rez je najpomalší pretože ním dochádza k odberu najväčšieho množstva materiálu. S každým ďalším rezom stúpa rezná rýchlosť a dochádza k zlepšovaniu parametra drsnosti povrchu obrobenej plochy.

1. Popis obrobku

Materiál: Železo
Výška [mm]: 110

Stav vyplachování:

2. Parametry obrábění

Stav	Otevřený
Kuželovitost [°]	-
Taper-Expert	Ne
Počet řezů	3
Tkm +/- [μm]	-
Ra [μm]	-

3. Volba drátu

AC Brass 500	<input type="checkbox"/>
AC Brass 900	<input checked="" type="checkbox"/>
AC Cut A 500	<input type="checkbox"/>
AC Cut A 900	<input type="checkbox"/>
AC Cut D 500	<input type="checkbox"/>
AC Cut X	<input type="checkbox"/>
AC Cut Xcc	<input type="checkbox"/>

Průměr

0.070	<input type="checkbox"/>
0.100	<input type="checkbox"/>
0.150	<input type="checkbox"/>
0.200	<input type="checkbox"/>
0.250	<input checked="" type="checkbox"/>
0.300	<input type="checkbox"/>
0.330	<input type="checkbox"/>

4. Třídění & výběr sekvencí

Číslo sekvy= 2

Poř...	Typ	Název	Drát	HMin	HMax	Tkm ... Δ	Ra [μm]	R [mm/min]
3	STD	Fast Cuts in open	AC Brass 900 0.250	1	200	5.00	0.70	0.68
3	STD	SI in open	AC Brass 900 0.250	1	200	6.00	1.40	0.56

5. Vytvořená sekvence

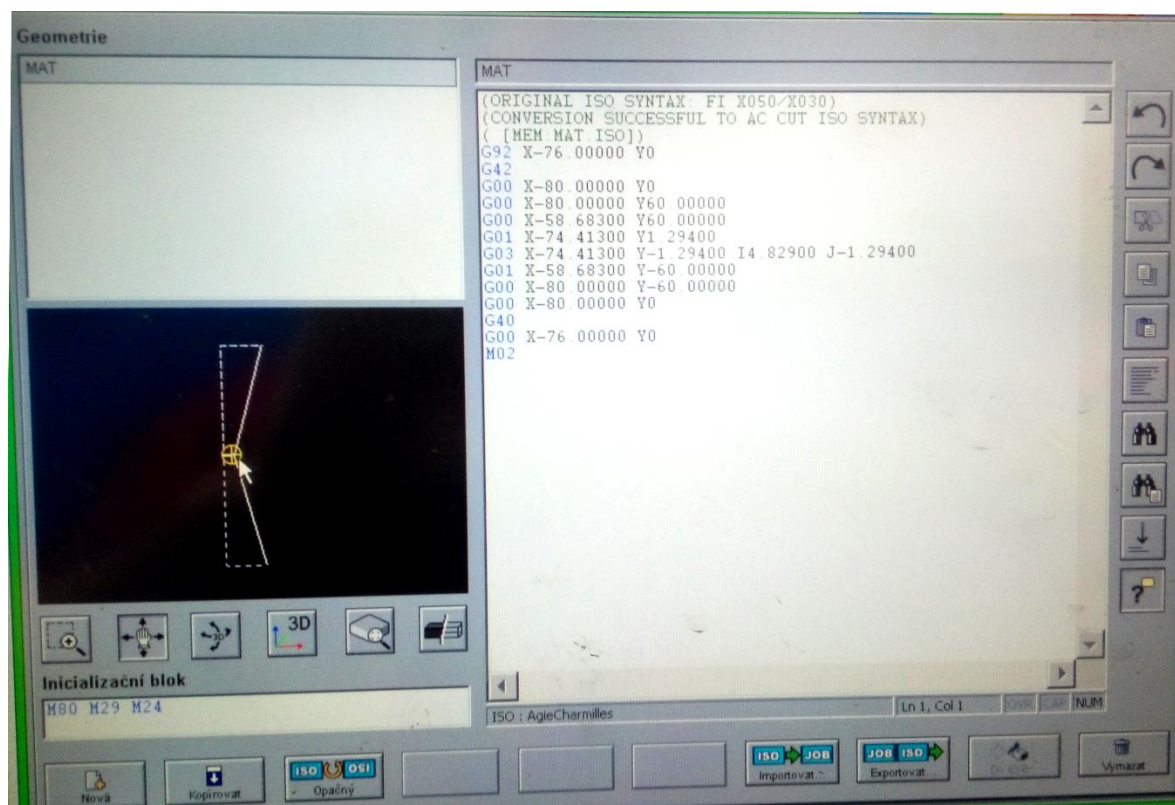
Sequence 1

TecDB Vers. V-1-2-6
Železo, H 110 mm, AC Brass 900 0.250
STD, Otevřený, Kuželovitost 5°
Tkm 5.00, Ra 0.70, R 0.68

Krok	T	Drát	Ra	R	Offset
1	2	AC Brass 900 0.250	2.80	1.07	243.9
2	7	AC Brass 900 0.250	1.80	2.44	141.6
3	21	AC Brass 900 0.250	0.70	7.65	131.9

Buttons: Storno, Generovat, Ověření, Potvrdit, Storno

Obr. 3.1 Návrh rezu



Obr. 3.2 Simulácia rezu

V nasledujúcej tabuľke sú zobrazené nasimulované rýchlosti pre jednotlivé rezy a dosiahnutá drsnosť povrchu.

Tab. 3.2 Rezné podmienky.

Rez [-]	Drsnosť Ra [μm]	Rýchlosť rezu v_r [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]
1.	2,8	1,07
2.	1,8	2,44
3.	0,7	7,65

Strojný čas vypočítame podľa rovnice (3.1). Rezná dráha je vypočítaná z modelu vymodelovaného v programe AutoDesk Inventor. Jej hodnota je $l_r = 163,54$ mm. Vedľajší čas vypočítame podľa rovnice (3.2). Celková dráha rýchlo posuvov je $l_s = 576$ mm a rýchlosť rýchloposuvu je $v_s = 3000$ mm. min⁻¹ [16].

$$t_{AS} = \frac{l_r}{v_r} [\text{min}] \quad (3.1)$$

kde: $t_{AS}[\text{min}]$ strojný čas,
 $l_r[\text{mm}]$ dĺžka reznej dráhy,
 $v_r[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$ rýchlosť rezu.

$$t_{AS1} = \frac{163,64}{1,07} = 152,93 \text{ min}$$

$$t_{AS2} = \frac{163,64}{2,44} = 67,07 \text{ min}$$

$$t_{AS3} = \frac{163,64}{7,65} = 21,39 \text{ min}$$

$$t_{AV} = \frac{l_s}{v_s} [\text{min}] \quad (3.2)$$

kde: $t_{AV}[\text{min}]$ vedľajší čas,
 $l_s[\text{mm}]$ celková dráha rýchloposuvov,
 $v_s[\text{mm.min}^{-1}]$ rýchlosť rýchloposuvu.

$$t_{AV} = \frac{576}{3000} = 0,19 \text{ min}$$

Súčtom jednotlivých strojných časov a vedľajšieho času získame čas jednotkovej práce.

$$t_{A1} = t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3} + t_{AV} \quad (3.3)$$

kde: $t_{A1}[\text{min}]$ čas jednotkovej práce,
 $t_{AS}[\text{min}]$ strojný čas,
 $t_{AV}[\text{min}]$ vedľajší čas.

$$t_{A1} = 152,93 + 67,07 + 21,39 + 0,19 = 241,58 \text{ min}$$

Cenu spotrebovaného drôtu vypočítame podľa rovnice (3.4). Jedna cievka stojí 104 € a je na nej $L_c = 19200,6$ m drôtu. Rýchlosť odvíjania drôtu je podľa simulácie $v_o = 8 \text{ m.min}^{-1}$.

$$C_d = \frac{(t_{AS1} + t_{AS2} + t_{AS3}) \times v_o}{L_c} \times C_c [\text{€}] \quad (3.4)$$

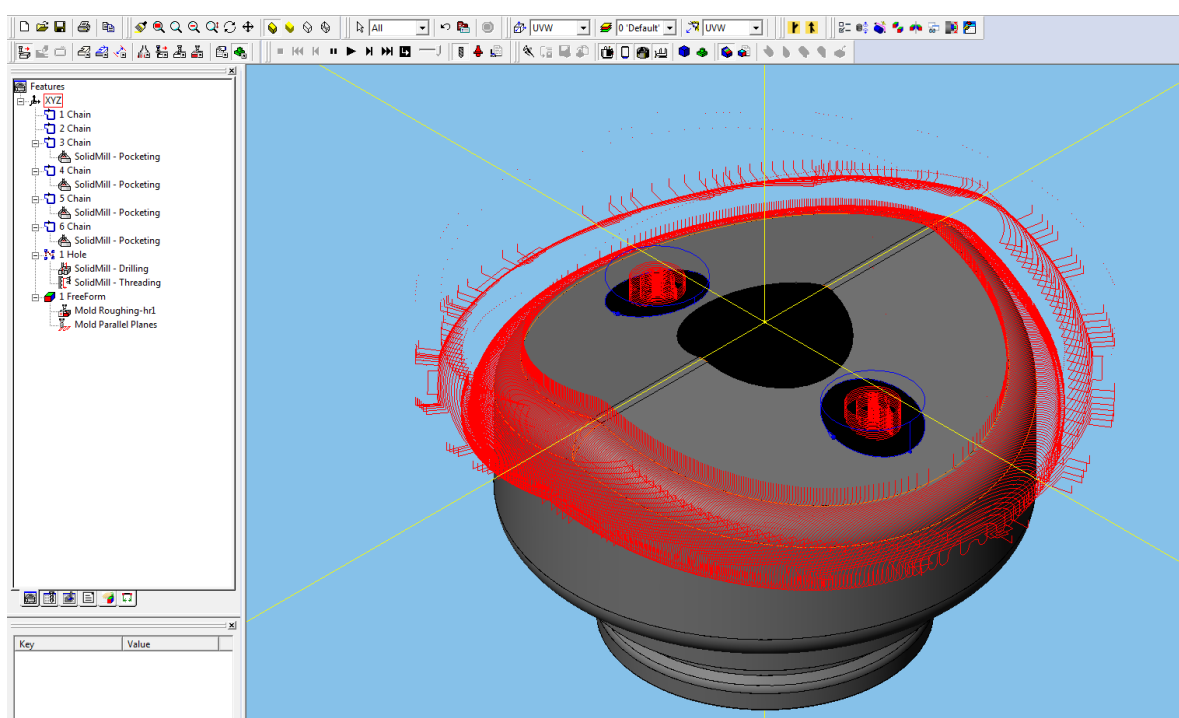
kde: $C_d[\text{€}]$ cena drôtu,
 $t_{AS}[\text{min}]$ strojný čas,
 $v_o[\text{m.min}^{-1}]$ rýchlosť odvíjania drôtu,
 $L_c[\text{m}]$ dĺžka navinutého drôtu na cievke,
 $C_c[\text{€}]$ cena cievky.

$$C_d = \frac{(152,93 + 67,07 + 21,39) \times 8}{19200,6} \times 104 = 10,5 \text{ €}$$

3.4 Frézovanie

Simulácia frézovania zobrazená na obr. 3.3 je vytvorená v programe Esprit. Simulácia je vytvorená v spolupráci s firmou Vegum a.s. Po zadefinovaní nástrojov, rezných podmienok a spôsobu obrábania simulácia vygenerovala čiastkové strojné časy, ktorých súčtom sme získali čas jednotkovej práce pre obrábanie na frézke DMU 75. Rezné podmienky spolu s popisom práce sú uvedené vo výrobnej návodke V1/2, ktorá je súčasťou prílohy 1. Nástroje a britové doštičky sú použité rovnaké ako v prípade pôvodnej technológie výroby. Na rozdiel od pôvodnej technológie nedochádza k obrobeniu šikmej plochy pod uhlom 75° . Rovnako je po predchádzajúcom obrábaní na elektroerozívnej drôtovej rezačke obrobený rádius R5 medzi šikmými plochami.

Vďaka tejto úprave klesne čas jednotkovej práce obrábania na frézke. Strojný čas potrebný k hrubovaniu šikmej plochy a obvodového rádiusu R7 klesol o 63,5 %. Čas dokončovania klesol o 61,8 %.



Obr. 3.3 Simulácia frézovania variant 1.

4 NÁVRH NOVEJ TECHNOLOGIE VÝROBY VARIANT 2

V tomto variante budú použité kvalitnejšie nástroje, ktoré umožnia dosiahnutie vyšších hodnôt rezných podmienok. Zvolené hodnoty rezných podmienok sú stanovené na základe odporúčaných rezných parametrov, ktoré uvádza výrobca obrábacích nástrojov. Vzhľadom na to, že výrobca udáva v katalógu relatívne veľké rozmedzie rezných podmienok, mohli sme sa pri ich voľbe dopustiť určitej chyby. Výrobca dokonca niektoré parametre ani neuvádza, respektíve uvedie napr. len jeden spoločný rozsah hodnôt pre a_p a f_n (tab. 4.1). Úplná eliminácia tejto vzniknutej chyby je možná, až po otestovaní zvolených nástrojov pre konkrétny materiál. Navrhnuté rezné podmienky sú uvedené v prílohe 1. Rezanie závitů zostane v pôvodnom nezmenenom stave. Dôvodom je nízky čas danej operácie vzhľadom na celkový strojný čas.

Ako novo navrhnuté nástroje, zobrazené v tab. 4.1 a tab. 4.2, sú zvolené výrobky švédskeho výrobcu Sandvik Coromant. S výrobkami Sandvik Coromant má firma Vegum a.s. dlhodobé dobré skúsenosti. Pri výbere nástrojov je kladený dôraz na zachovaní univerzálnosti každého nástroja.

Technologický postup pre druhý variant technológie výroby jadra je totožný s technologickým postupom pôvodnej technológie uvedeným v tab. 2.1.

4.1 Sústruženie



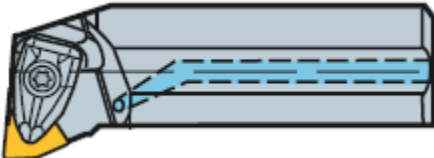
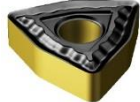
Obrábanie prebieha na rovnakom stroji ako aj v pôvodnej technológii. Zmena nastane v použití iných nástrojov na vonkajšie aj vnútorné hrubovanie. Nástroje na dokončovacie operácie sú použité rovnaké ako aj v pôvodnom variante technológie. Dôvodom na ponechanie pôvodných dokončovacích nástrojov je celkový nízky čas dokončovacích cyklov. Dokončovacie operácie tvoria iba 14,2 % z celkového času obrábania na sústruhu. Neúmerným zvýšením rezných podmienok, by mohlo dôjsť k zhoršeniu kvality povrchu. Rovnako zostane v nezmennej podobe vŕtanie, ktoré tvorí iba 5,3 % celkového času sústruženia.

Sústruh je riadený CNC programom uvedeným v prílohe 6. Rozdiel spočíva v dosadení iných rezných podmienok. Rezné podmienky spolu s popisom jednotlivých operácií sú uvedené vo výrobných návodkách V2/1, V2/2 a V2/3. Výrobné návodky sú súčasťou prílohy 1.

4.1.1 Nové sústružnícke nástroje

Každý z navrhnutých nástrojov uvedených v tab 4.1 má vyššie doporučené rezné podmienky ako pôvodné nástroje. Oba vybrané nože používajú rovnaký typ britových doštičiek. Vďaka tomuto výberu klesol počet použitých variantov doštičiek pri sústružení na tri typy (jeden typ pre vonkajšie a vnútorné hrubovanie, jeden typ pre vonkajšie a vnútorné dokončovanie a jeden typ pre pre vŕtanie). Zvolené doštičky majú o dve ostria viac, ako pôvodná doštička na vonkajšie hrubovanie a o štyri ostria viac, ako pôvodná doštička na vnútorné hrubovanie. Za predpokladu 15 min trvanlivosti jedného ostria narástla využiteľnosť jednej doštičky na vonkajšie hrubovanie zo 60 min na 90 min obrábania. V prípade vnútorného hrubovania narástla využiteľnosť z počiatočných 30 min na 90 min.

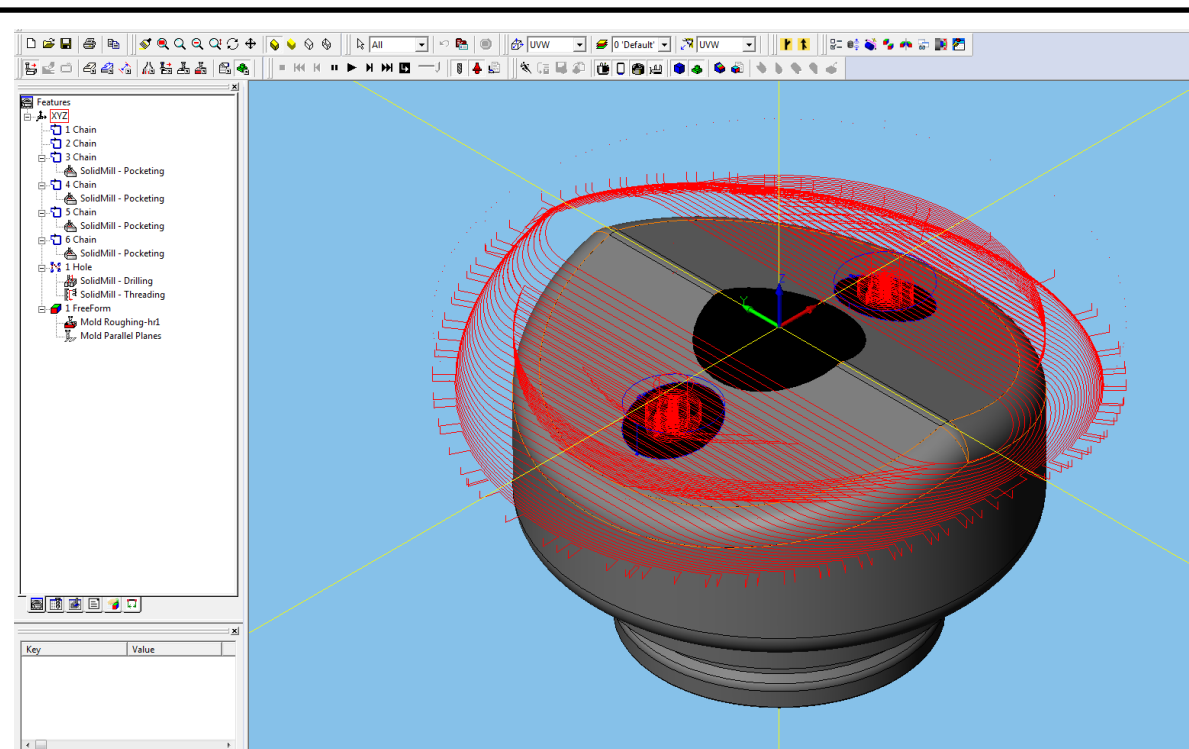
Tab. 4.1 Novonavrhnuté sústružnicke nástroje a odporúčané rezné podmienky [17].

Druh operácie	Držiak	Vymeniteľná bitová doštička a odporúčané rezné podmienky
Vonkajšie hrubovanie	 MWLNL2020K06	 WNMG060408QM 4205 $r = 0,6 \text{ mm}$ $a_p = 0,1-0,8 \text{ mm}$ $f_n = 0,1-0,8 \text{ mm}$ $v_c = 160-310 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 6$
Vnútoré hrubovanie	 A25T-DWLNL06	 WNMG060408QM 4205 $r = 0,6 \text{ mm}$ $a_p = 0,1-0,8 \text{ mm}$ $f_n = 0,1-0,8 \text{ mm}$ $v_c = 160-310 \text{ m. min}^{-1}$ $O = 6$

4.2 Frézovanie

Obrábanie prebieha na rovnakom stroji ako aj v pôvodnej technológii. Na obr. 4.1 je znázornená simulácia obrábania na frézke DMU 75. Podobne vyzerá simulácia v pôvodnej technológii výroby. Nástroje konajú pohyb po približne rovnakých trajektóriách. Rozdiel spočíva v iných hodnotách rezných podmienok. Taktiež sú použité iné nástroje. Rezné podmienky spolu s popisom práce sú uvedené vo výrobnej návodke V2/4. Výrobná návodka je súčasťou prílohy 1.

Pre prehľadnosť simulácie sú znázornené iba trajektórie hrubovania. Trajektórie dokončovania sú skryté.



Obr. 4.1 Simulácia frézovania variant 2.





4.2.1 Nové frézovacie nástroje

Každý z navrhnutých nástrojov uvedených v tab. 4.2 má vyššie doporučené rezné podmienky ako pôvodné nástroje. Nástroj na vŕtanie je použitý rovnaký ako v pôvodnej technológii. Vŕtanie tvorí iba 3,5 % celkového času frézovania.

Hrubovacia fréza vďaka kruhovému tvaru britových doštičiek môže využívať veľké množstvo ostrí. Výrobca doporučuje menšie hodnoty rezných podmienok ako v prípade pôvodnej frézy. Vzhľadom na to, že fréza má väčší priemer obrába väčšiu plochu. Táto zmena má za následok skrátenie reznej trajektórie.

Výrobca nástrojov udáva, že pri frézovaní na sucho, dochádza k zvýšeniu trvanlivosti fréz 1B240-1000-XA, 1P341-1000-XA a 1P341-0800-XA až o 40 % oproti frézovaniu za prívodu reznej kvapaliny [18].

Tab. 4.2 Novonavrnuté frézovacie nástroje a odporúčané rezné podmienky [18].

Druh operácie	Držiak	Vymeniteľná britová doštička a odporúčané rezné podmienky
Hrubovanie	 R300-32T16-08H	 R300-0828E-PM $\varnothing = 32 \text{ mm}$ $z = 5$ $r = 4 \text{ mm}$ $f_z = 0,05\text{--}0,29 \text{ mm}$ $n = 2440\text{--}2735 \text{ min}^{-1}$
Dokončovanie	 1B240-1000-XA	- $z = 4$ $\varnothing = 10 \text{ mm}$ $f_z = 0,125 \text{ mm}$ $n = 6430 \text{ min}^{-1}$
Frézovanie zahĺbenia	 1P341-1000-XA	- $z = 4$ $\varnothing = 10 \text{ mm}$ $f_z = 0,055 \text{ mm}$ $n = 3820 \text{ min}^{-1}$
Frézovanie zahĺbenia	 1P341-0800-XA	- $z = 4$ $\varnothing = 8 \text{ mm}$ $f_z = 0,033 \text{ mm}$ $n = 4775 \text{ min}^{-1}$

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Technické zhodnotenie je založené na porovnaní dosiahnutej kvality povrchu obrobní medzi jednotlivými technologickými postupmi. V ekonomickom zhodnotení sú vypočítané celkové ročné náklady. Taktiež je vypočítaná návratnosť novo navrhnutých nástrojov.

5.1 Technické zhodnotenie

V prvej navrhnujej technológii dochádza k čiastočnému tepelnému ovplyvneniu povrchu obrobení plochy. Povrch je čiastočne natavený (teploty sa pri elektriskrovom rezaní pohybujú v rozsahu 8000–12000 °C) a následne zakalený prúdom dielektrickej kvapaliny. Zvyčajne siaha tepelne ovplyvnená oblasť do hĺbky 0,4–1 mm v závislosti na energii impulzov. Toto ovplyvnenie však môžeme zanedbať, pretože obrábaná plocha nie je vystavená takmer žiadnemu namáhaniu. Vzhľadom na to, že slúži len ako styková plocha jadra so samotnou formou [2].

Výhodou navrhnujej technológie je dosiahnutie nižšej drsnosti povrchu R_a 0,7 μm v porovnaní s pôvodnou technológiou výroby alebo s druhou navrhnutou technológiou, ktorých drsnosť povrchu je R_a 1,6 μm .

Použitím druhej navrhnujej technológie dosiahneme rovnakú akosť povrchu v porovnaní s pôvodnou technológiou.

5.2 Ekonomické zhodnotenie

V tabuľke tab.5.1 sú hodnoty časov čiastkových operácií jednotlivých variant a celkový výrobný čas každej technológie.

Tab. 5.1 Porovnanie jednotlivých technológií na základe času.

Popis práce	Pôvodná technológia t_{AI} [min]	Variant 1 t_{AI} [min]	Variant 2 t_{AI} [min]
Sústruženie	22,05	22,05	13,74
Rezanie	-	241,58	-
Frézovanie	135,25	64,47	97,4
Rezanie závitů	0,3	0,3	0,3
Celkový čas	157,6	328,4	111,44

Z tab. 5.1 vyplýva, že pri zvolení prvého variantu technológie dochádza k 2,1 násobnému zvýšeniu celkového výrobného času. Naopak v prípade druhého variantu technológie je pôvodný čas znížený o 29,3 %.

Spotrebu vymeniteľných britových doštičiek a nástrojov vypočítame podľa vzťahu (5.1).

$$D = \frac{t_{AS} \times N}{T \times O} [ks] \quad (5.1)$$

kde: $D[ks]$ počet doštičiek alebo nástrojov,
 $t_{AS}[min]$ strojný čas,
 $N[ks]$ veľkosť výrobnéj série,
 $T[min]$ trvanlivosť ostria alebo trvanlivosť nástroja,
 $O[ks]$ počet ostrí britovej doštičky.

Spotreba britových doštičiek a nástrojov je znázornená v tab. 5.2 až tab. 5.5. Veľkosť výrobnéj série je $N = 100$ ks. Trvanlivosť ostria sústružníckej doštičky je $T = 15$ min, frézovacej doštičky $T = 45$ min, trvanlivosť monolitných fréz zo spekaných karbidov $T = 45$ min a trvanlivosť závitníku $T = 45$ min. Na sústružníckom vrtáku sú v jednom okamihu namontované dve doštičky a na hrubovacej fréze päť doštičiek. Počet ostrí kruhových frézovacích doštičiek bol stanovený na $O = 5$ ks.

V tab.5.2 je vypočítaná celková cena britových doštičiek C_b spotrebovaných v pôvodnej technológii.

Tab. 5.2 Náklady na britové doštičky v pôvodnej technológii.

Katalógové číslo	Katalógová cena [€]	Počet [ks]	Celková cena [€]
DNMG150608PT	8,35	25	208,75
VBMT110304GP	6,4	11	70,4
CCMT09T304GK	7,55	9	67,95
ZXMT11306GM	7,9	8	63,2
01 07 482 PVSR	8,7	25	217,5
Celková cena britových doštičiek C_b [€]			627,8

V tab.5.3 je vypočítaná celková cena britových doštičiek C_b spotrebovaných vo variante 1.

Tab. 5.3 Náklady na britové doštičky vo variante 1.

Katalógové číslo	Katalógová cena [€]	Počet [ks]	Celková cena [€]
DNMG150608PT	8,35	25	208,75
VBMT110304GP	6,4	11	70,4
CCMT09T304GK	7,55	9	67,95
ZXMT11306GM	7,9	8	63,2
01 07 482 PVSR	8,7	10	87
Celková cena britových doštičiek C_b [€]			497,3

V tab. 5.4 sa hodnota trvanlivosti vzťahuje k nástroju a nie k ostriu. Z tohto dôvodu dopĺňame do výpočtu podľa rovnice (5.1) $O = 1$ ks.

Tab. 5.4 Spotreba nástrojov.

Popis práce	Pôvodná technológia	Variant 1	Variant 2
Dokončovanie	227	87	162
Vŕtanie	11	8	11
Frézovanie zahĺbenia Ø12	16	16	11
Frézovanie zahĺbenia Ø22	25	25	15
Rezanie závitů	1	1	1
Spolu	280	137	200

Každá fréza s výnimkou závitníku sa po opotrebení ostria nabrúsi a môže sa ďalej používať. Vzhľadom na to, že niektoré nástroje je potreba často prebrusovať, musia byť tieto nástroje nakúpené vo väčšom množstve.

Vo výpočte nákladov pri použití druhej navrhutej technológie musia byť zahrnuté aj náklady na kúpu nových nástrojov C_n a britových doštičiek C_b . V nasledujúcej tabuľke sú katalógové ceny novonavrhnutých nástrojov a doštičiek pre druhý variant technológie. Počet nástrojov bol stanovený na základe spotreby uvedenej v tab. 5.4.

Tab. 5.5 Ceny nových nástrojov a britových doštičiek vo variante 2 [19].

Katalógové číslo	Katalógová cena [€]	Počet [ks]	Celková cena [€]
Nové nástroje			
MWLNL2020K06	81,7	1	81,7
A25T-DWLNL06	225	1	225
R300-32T16-08H	362	1	362
1B240-1000-XA	89,3	10	893
1P341-1000-XA	104	2	208
1P341-0800-XA	74,4	2	148,8
Britové doštičky			
WNMG060408QM vonkajšie hrubovanie	10,05	9	90,45
WNMG060408QM vnútorne hrubovanie	10,05	2	20,1
R300-828E-PM	10,15	20	203
VBMT110304GP	6,4	11	70,4
ZXMT11306GM	7,9	8	63,2
Celková cena nových nástrojov C_n [€]			1918,5
Celková cena britových doštičiek C_b [€]			474,15

Porovnaním spotreby doštičiek medzi pôvodnou technológiou a variantom 2 je vidieť výrazné zníženie spotreby v prospech variantu 2. V druhej navrhutej technológii klesol počet britových doštičiek o 35,9 % v porovnaní s pôvodnou technológiou.

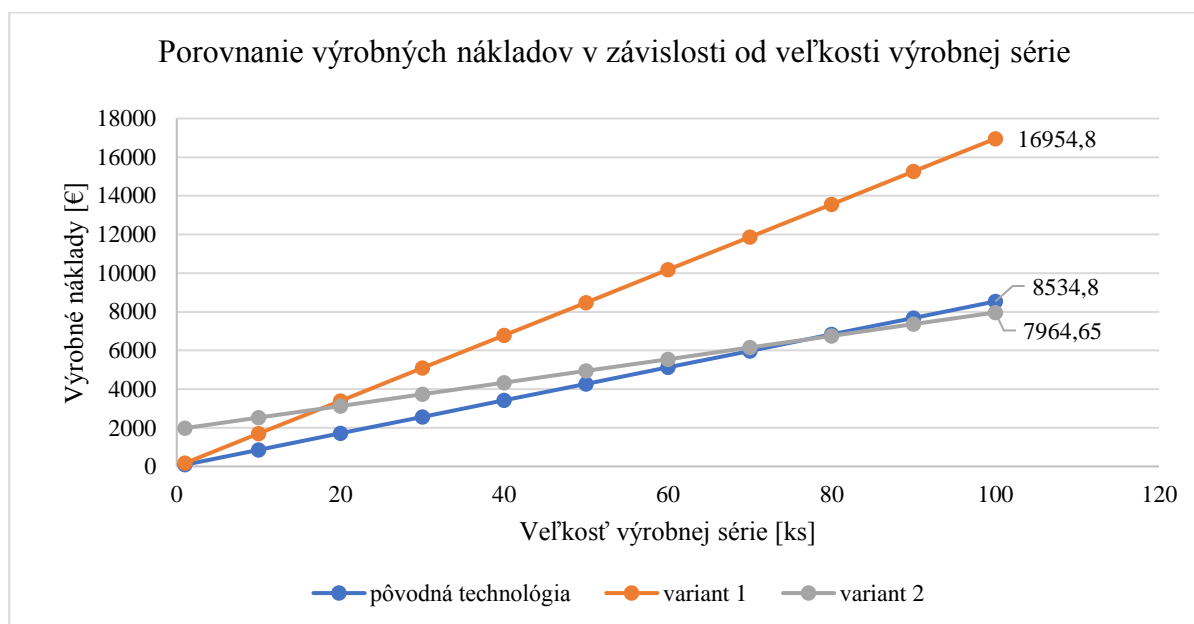
Pre výpočet výrobných nákladov jadra je zvolená hodinová sadzba 30 €·hod⁻¹. Zvolená hodinová sadzba je pre každý stroj rovnaká. Vo výpočte nie je zohľadnená cena materiálu ani

cena odpadu. Vo všetkých troch technológiách je veľkosť polotovaru, hmotnosť polotovaru aj hmotnosť odpadu rovnaká. Taktiež je použitý rovnaký materiál. Z tohto dôvodu nie je potrebné tieto hodnoty zohľadniť vo výpočte. Náklady na brúsenie nástrojov sú zanedbané. Výrobné náklady jednotlivých technológií vypočítame použitím rovnice (5.2).

$$N_v = \sum \frac{t_{A1i} \times S_h}{60} \times N + C_n + \frac{(C_b + C_d + C_z)}{N} [\text{€}] \quad (5.2)$$

kde: $N_v[\text{€}]$ výrobné náklady,
 $t_{A1i}[\text{min}]$ čas jednotkovej práce,
 $S_h[\text{€} \cdot \text{hod}^{-1}]$ hodinová sadzba,
 $N[\text{ks}]$ veľkosť výrobnéj série,
 $C_n[\text{€}]$ celková cena nových nástrojov,
 $C_b[\text{€}]$ celková cena britových doštičiek,
 $C_d[\text{€}]$ cena drôtu,
 $C_z[\text{€}]$ cena závitníku.

V pôvodnej technológii sú hodnoty $C_n = 0$ a $C_d = 0$. V prvom variante je hodnota $C_n = 0$. V druhom variante je hodnota $C_d = 0$. Cena drôtu je $C_d = 10,5 \text{ €}$. Cena závitníku je $C_z = 27 \text{ €}$ [14].



Obr. 5.1 Porovnanie nákladov jednotlivých technológií.

Na obr. 5.1 je vidieť porovnanie nákladov na výrobu v závislosti na veľkosti produkcie. Z grafu vyplýva, že prvá navrhnutá technológia je z pohľadu nákladov na výrobu neefektívna a ďalej jej už nebudeme venovať pozornosť. Druhá navrhnutá technológia je spočiatku nákladnejšia z dôvodu zahrnutia vstupnej investície na kúpu nových nástrojov. Po vyrobení 78.

kusu dochádza k vráteniu počiatočných nákladov. Celkový rozdiel po vyrobení sto výrobkov je 570,15 €.

Výsledne hodnoty sú orientačné, pretože do výpočtu neboli zahrnuté časy potrebné k upnutiu obrobku, mzdy pracovníkov, DPH, amortizácia strojov a nástrojov a ďalšie interné firemné náklady. Pre porovnanie jednotlivých variant sú však tieto hodnoty dostačujúce.

V tab. 5.6 je uvedená návratnosť n_k každého novo zakúpeného nástroja v závislosti na počte vyrobených kusov. Koľko musíme vyrobiť kusov aby sa nám vrátili počiatočné investície pre konkrétny nástroj. Návratnosť je vypočítaná podľa nasledujúcich vzťahov (5.3) a (5.4).

$$u_k = \frac{(t_p - t_n) \times S_h}{60} [\text{€} \cdot \text{ks}^{-1}] \quad (5.3)$$

kde: u_k [€·ks⁻¹] ušetrená suma na kus,
 t_p [min] pôvodný čas obrábania nástrojom,
 t_n [min] nový čas obrábania nástrojom,
 S_h [€·hod⁻¹] hodinová sadzba.

$$N_k = \frac{c}{u_k} [\text{ks}] \quad (5.4)$$

kde: N_k [ks] návratnosť v závislosti na počte vyrobených kusov,
 c [€] cena nástroja,
 u_k [€·ks⁻¹] ušetrená suma na kus.

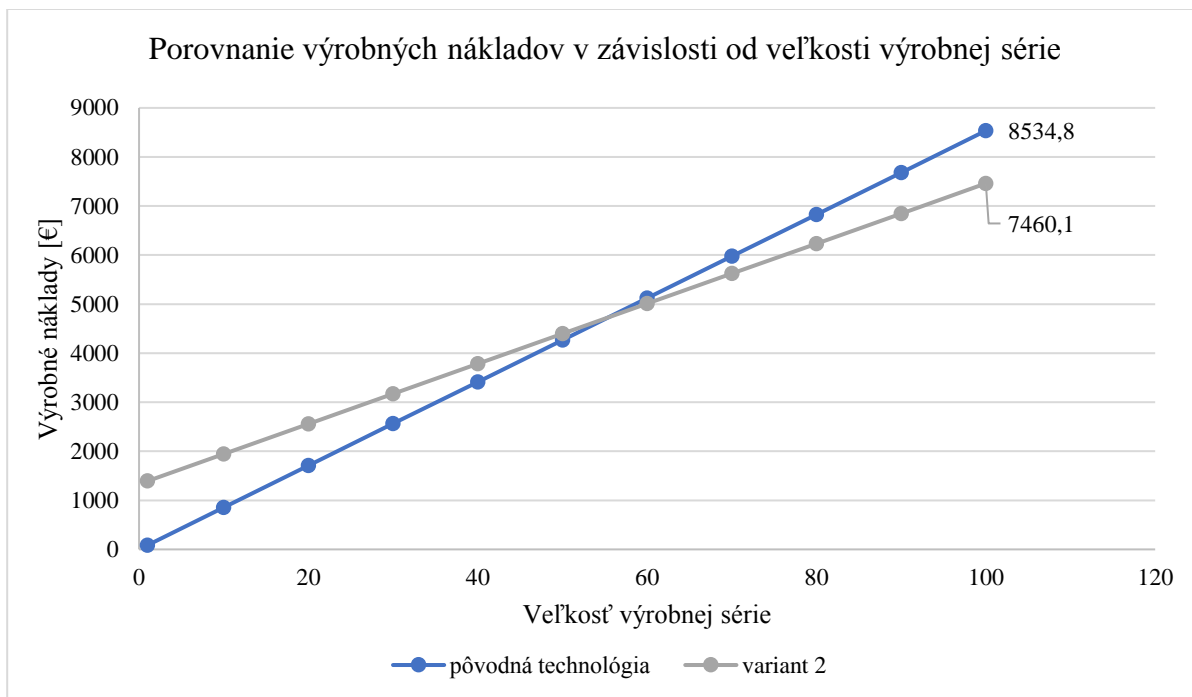
Tab. 5.6 Návratnosť investícií na kúpu nástroja v závislosti na počte vyrobených kusov.

Katalógové číslo	Návratnosť N_k [ks]
MWLN2020K06	23
A25T-DWLN06	357
R300-32T16-08H	322
1B240-1000-XA	61
1P341-1000-XA	92
1P341-0800-XA	157

Z uvedenej tabuľky vyplýva, že množstvá vyrobených kusov na vrátenie počiatočných investícií jednotlivých nástrojov sú značne rozdielne. Najrýchlejšiu návratnosť má vonkajší hrubovací sústružnícky nôž MWLN2020K06. Naopak vnútorný hrubovací sústružnícky nôž A25T-DWLN06 a hrubovacia fréza R300-32T16-08H dosahujú časovo najdlhšiu návratnosť. Táto pomalá návratnosť je spôsobená vysokou obstarávacou cenou nástrojov (do počiatočných

nákladov nie sú zahrnuté britové doštičky). Vzhľadom na relatívne vysoké počiatkové investície neposkytujú tieto nástroje výraznú úsporu celkového strojného času.

Graf na obr. 5.2 znázorňuje upravenú technológiu. Vzhľadom na to, že jadro je vyrábané v malých sériách v celkovom počte 100 kusov ročne, nahradíme vo výpočte neefektívne nástroje (A25T-DWLNL06 a R300-32T16-08H) s dlhou návratnosťou pôvodnými nástrojmi. V tomto prípade klesnú počiatkové náklady na nové nástroje z pôvodných 1918,5 € na 1331,5 €. Náklady na britové doštičky sa zvýšia z pôvodných 474,15 € na 556,6 €.



Obr. 5.2 Upravená technológia.

Uvedená zmena mala za následok zníženie celkových nákladov na výrobu 100 ks jadier. Rozdiel medzi pôvodnou technológiou a úpravou novo navrhutej technológie je 1074,7 €. Taktiež klesla návratnosť počiatkových investícií na 56 kusov. Odstránením sústružníckeho noža na vnútorne hrubovanie a hrubovacej frézy sa zvýšil celkový strojný čas, ale celkové náklady na výrobu sto výrobkov klesli. Zníženie výrobných nákladov je spôsobené odstránením dvoch finančne najnákladnejších nástrojov.

ZÁVER

Bakalárska práca bola zameraná na návrh variantnej technológie výroby jadra lisovacej formy. V práci sú uvedené dva navrhnuté varianty technológie výroby.

Podstatou prvého variantu postupu výroby je čiastočná úprava technologického postupu. Časť obrábania je presunutá na pracovisko eletkroerozívnej drôtovej rezačky AgieCharmilles CUT 300 SP. Touto zmenou dochádza k zlepšeniu parametru drsnosti povrchu na hodnotu $R_a\ 0,7\ \mu\text{m}$. Nevýhodou prvého navrhnutého postupu je výrazné navýšenie celkových nákladov na výrobu sto kusov výrobkov na takmer dvojnásobok pôvodnej technológie.

Vzhľadom na enormný nárast výrobného času prvej navrhutej technológie je tento postup pre danú aplikáciu nepoužiteľný. Navrhnutú technológiu je možné aplikovať v prípade požiadavky na presnejšiu hodnotu drsnosti povrchu. V prípade zmeny výkresovej dokumentácie by stálo za zváženie použitie navrhnutého variantu.

V druhom variante výroby je navrhnutá kúpa nových obrábacích nástrojov. Nové nástroje umožňujú použitie vyšších hodnôt rezných podmienok. Použitá technológia priniesla 29,3% úsporu obrábacieho času. Predpokladaná návratnosť počiatočných investícií je po vyrobení 78. kusu. Spotreba vymeniteľných britových doštičiek klesla o 35,9 % v porovnaní s pôvodnou technológiou. Po vyrobení sto kusov výrobkov je predpokladaná finančná úspora na úrovni 570,15 €.

Na základe výpočtu návratnosti jednotlivých nástrojov došlo k úprave navrhutej technológie. Úprava spočívala v nahradení dvoch nerentabilných nástrojov pôvodnými nástrojmi. Použitá úprava znížila predpokladanú návratnosť na 56 kusov. Z ekonomického hľadiska dochádza k úspore 1074,7 € počas prvého roku.

Je otázne, či je uvedená úprava nutná, pretože začlenenie nerentabilných nástrojov do výroby iných produktov môže výrazne znížiť čas ich návratnosti.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. PRECIZ. *Preciz.cz* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2312>
2. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. Košice: Viena, 2000. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. ISBN 8070994304.
3. MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 8070825189.
4. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I: elektroerozivní, elektrochemické a chemické obrábění*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 9788024839431.
5. GILDEMEISTER_CTX_400_E_EN. *Maschinen-kistner.de* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.maschinen-kistner.de/files/Produkte/Drehmaschinen/GILDEMEISTER_CTX_400_E_Fa.D.Friedrich_GmbH/PDF_Englisch/GILDEMEISTER_CTX_400_E_EN.pdf
6. *CNC PILOT 3190: Průvodce*. HEIDENHAIN, 1999.
7. Turning Catalog. *Kyoceraprecisiontools.com* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/pdf/Turning_Catalog_2016.pdf
8. Small Tools Catalog. *Kyoceraprecisiontools.com* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/pdf/Small_Tools_Catalog.pdf
9. Drilling Catalog. *Kyoceraprecisiontools.com* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/pdf/Drilling_Catalog_2013_Kyocera.pdf
10. DMU 75/95 monoBLOCK. *Dmgmori.com* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://dk.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-monoblock/dmu-75-monoblock#Downloads>
11. Milling Cutter Bodies. *Pokolm.de* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://www.pokolm.de/cz/downloads/?category=23>
12. Cutting Tools. *Ygl.kr* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.ygl.kr/support/catalog.asp>
13. Letak_volumtec_2014. *Magcentrum.sk* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.magcentrum.sk/tl_files/magcentrum/DATA/letak_volumtec_2014.pdf
14. NAREX. *Narexzd.cz* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: <https://www.narexzd.cz/strojni-zavitniky/2680/>
15. Facts & Figures. *Georgfischer.com* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.georgfischer.com/content/gf/com/en/UeberGeorgFischer/fakten-und-zahlen.html>
16. AgieCharmilles CUT 300 Sp. *Gfms.com* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://www.gfms.com/country_CZ/cs/Products/EDM/wire-cut-edm/high-speed-machining/cut-300-sp.html
17. Soustružnické nástroje. *Sandvik.eckbook.se* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/cs/turning_tools_2015/
18. Rotační nástroje. *Sandvik.eckbook.se* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/cs/rotating_tools_2015/
19. Sandvik Coromant. *Sandvik.coromant.com* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>

Zoznam Použitých Symbolov a Skratiek

Skratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_e	[mm]	Pracovný (radiálny) záber
a_p	[mm]	Šírka záberu ostria
C	[€]	Cena nástroja
C_b	[€]	Celková cena britových doštičiek
C_c	[€]	Cena cievky
C_d	[€]	Cena drôtu
C_n	[€]	Celková cena nových nástrojov
C_z	[€]	Cena závitníku
CNC	-	Computer numerical control
D	[ks]	Počet doštičiek alebo nástrojov
DPH	-	daň z pridanej hodnoty
f_n	[mm]	Posuv na otáčku
f_z	[mm]	Posuv na zub
i	[ks]	Počet závitov
k_s	-	Kus
L_c	[m]	Dĺžka navinutého drôtu na cievke
l_s	[mm]	Celková dráha rýchlo posuvov
l_r	[mm]	Rezná dráha
L_z	[mm]	Dĺžka závitů
N	[ks]	Veľkosť výrobnéj série
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky
NC	-	Numerical control
N_k	[ks]	Návratnosť v závislosti na počte vyrobených kusov
n_{\max}	$[\text{min}^{-1}]$	Maximálne otáčky
N_v	[€]	Výrobné náklady
O	[ks]	Počet ostrí britovej doštičky
r	[mm]	Rádus
R_a	$[\mu\text{m}]$	Priemerná aritmetická odchýlka profilu
T	[min]	Trvanlivosť ostria alebo trvanlivosť nástroja
t_{A1}	[min]	Čas jednotkovej práce
t_{AS}	[min]	Strojný čas
t_{AV}	[min]	Vedľajší čas
t_n	[min]	Pôvodný čas obrábania nástrojom
t_p	[min]	Nový čas obrábania nástrojom
u_k	$[\text{€} \cdot \text{ks}^{-1}]$	Ušetrená suma na kus
v_c	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	Rezná rýchlosť
v_f	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	Posuvová rýchlosť
v_o	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	Rýchlosť odvíjania drôtu
v_r	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	Rýchlosť rezu
v_s	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	Rýchlosť rýchloposuvu
S_h	$[\text{€} \cdot \text{hod}^{-1}]$	Hodinová sadzba

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha 1 Výrobné návodky
- Príloha 2 Obrázok CNC sústruhu Gildemeister CTX 400E a jeho technické parametre
- Príloha 3 Obrázok CNC frézky DMG MORI DMU 75 monoBLOCK® a jej technické parametre
- Príloha 4 Obrázok elektrického závitorezu Volumec JT 3150 a jeho technické parametre.
- Príloha 5 Obrázok elektroerozívnej drôtovej rezačky AgieCharmilles CUT 300 SP a jej technické parametre.
- Príloha 6 CNC výrobný program pre sústruh Gildemeister CTX 400 E
- Príloha 7 Výkres 3–3D/31–01